

1.2. PARAMETRY FIZJOGRAFICZNE

Zróznicowanie przestrzenne i dynamika zjawisk hydrologicznych zależą od warunków fizjograficznych zlewni. Warunki te wyrażają cechy geometryczne, morfometryczne, geomorfologiczne, hydrograficzne, geologiczno-glebowe oraz sposób użytkowania powierzchni zlewni. Na przykład, kształt zlewni wpływa w znacznym stopniu na wielkość i przebieg wezbrań, czas koncentracji i charakter fali wezbraniowej: w zlewni wydłużonej fala jest zwykle płaska, wezbranie trwa dłużej, a jego kulminacja jest niższa niż w przypadku zlewni zwartej. Nachylenie zlewni wpływa na dynamikę i wielkość odpływu: im większe nachylenie, tym szybszy jest spływ powierzchniowy, mniej wody wsiąka i mniej paruje. Przepuszczalność podłoża warunkuje gęstość sieci rzecznej: na obszarach zbudowanych z utworów dobrze przepuszczalnych gęstość ta jest mała, natomiast na obszarach zbudowanych z utworów nieprzepuszczalnych – duża. Duża jeziorność zlewni wpływa zwykle na obniżenie przepływów kulminacyjnych oraz powoduje podwyższenie przepływów niżówkowych. Jednocześnie straty na parowanie w takich zlewniach są znaczne, co powoduje relatywne zmniejszenie średniego odpływu.

parametr – charakterystyka umożliwiająca opis stanu i działania systemu

Charakterystyki opisujące warunki fizjograficzne zlewni wyraża się w postaci miar ilościowych, tj. parametrów, które można wyznaczyć na podstawie map topograficznych i tematycznych, zdjęć lotniczych, a także na podstawie obserwacji i pomiarów terenowych. Ilościowe wyrażenie cech zlewni ułatwia m.in. studia porównawcze oraz pozwala na formułowanie matematycznych modeli obiegu wody.

1.2.1. Kształt zlewni

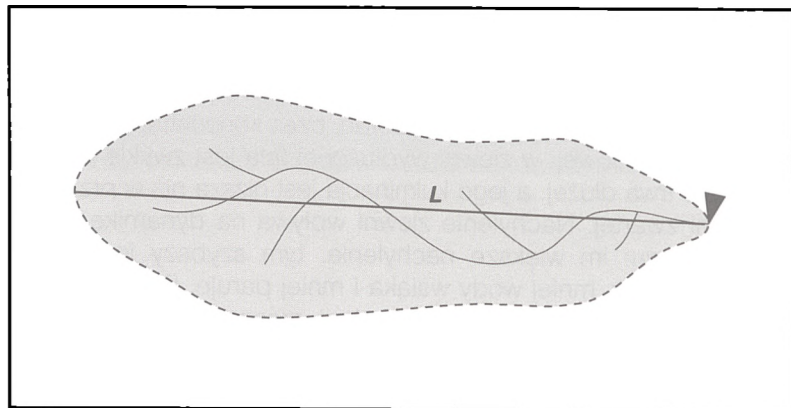
Kształt zlewni określają następujące parametry:

- **długość zlewni** L [km] – rozumiana najczęściej jako największa odległość w linii prostej między ujściem i najdalej oddalonym punktem na dziale wodnym (ryc. 1.2.1),
- **maksymalna długość zlewni** L_m [km] – czyli długość doliny rzeki głównej od ujścia do punktu na dziale wodnym w przedłużeniu odcinka źródłowego (ryc. 1.2.2),
- **średnia szerokość zlewni** B – obliczana jako stosunek powierzchni zlewni do jej maksymalnej długości:

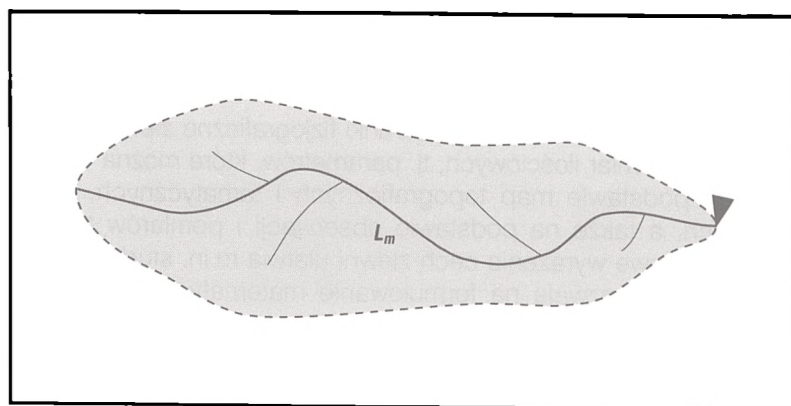
$$B = \frac{A}{L_m} \quad (1.2.1)$$

gdzie:

- B – średnia szerokość zlewni [km],
- A – powierzchnia zlewni [km²],
- L_m – maksymalna długość zlewni [km];



Ryc. 1.2.1. Długość zlewni [L]



Ryc. 1.2.2. Maksymalna długość zlewni [L_m]

- **obwód zlewni** P [km] – długość działu wodnego określona na podstawie mapy topograficznej,
- **wskaźnik wydłużenia zlewni** C_w – iloraz średnicy koła o polu równym polu powierzchni zlewni do maksymalnej długości zlewni:

$$C_w = \frac{2}{L_m} \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1.2.2)$$

gdzie:

- C_w – wskaźnik wydłużenia zlewni,
- L_m – maksymalna długość zlewni [km],
- A – powierzchnia zlewni [km²];

- **wskaźnik kolistości zlewni** C_k – stosunek pola powierzchni zlewni do pola koła o tym samym obwodzie, co obwód zlewni:

$$C_k = \frac{A}{A_k} = 4\pi \frac{A}{P^2} \quad (1.2.3)$$

gdzie:

- C_k – wskaźnik kolistości zlewni,
- A – powierzchnia zlewni [km²],
- A_k – powierzchnia koła o tym samym obwodzie, co obwód zlewni [km²],
- P – obwód zlewni [km].

Wielkość **powierzchni zlewni** A określa się poprzez pomiar na mapie obszaru ograniczonego topograficznym działem wodnym. W przypadku obszarów górskich, powierzchnia rzeczywista może znacznie się różnić od powierzchni rzutowanej na płaszczyznę poziomą, jaką stanowi mapa. Należy wówczas zastosować poprawkę według wzoru:

$$A = \frac{A_m}{\cos \alpha} \quad (1.2.4)$$

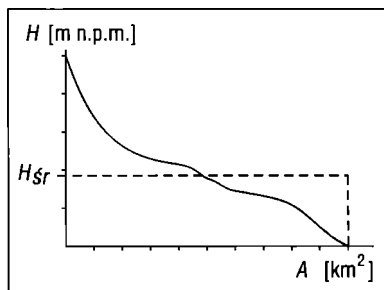
gdzie:

- A – powierzchnia rzeczywista [km²],
- A_m – powierzchnia rzutowana (określona z mapy) [km²],
- α – średnie nachylenie zlewni [°].

1.2.2. Rzeźba

Rzeźbę obszaru zlewni określają następujące parametry:

- **wysokość maksymalna** H_{max} [m n.p.m.] – maksymalna rzędna terenu na obszarze zlewni;
- **wysokość minimalna** H_{min} [m n.p.m.] – minimalna rzędna terenu na obszarze zlewni. Tak rozumianą wartość stosuje się zwykle w obliczeniach geomorfologicznych. W analizach hydrologicznych, za wysokość minimalną zlewni przyjmuje się najczęściej rzędną zwierciadła wody w przekroju zamykającym zlewnię przy najniższym stanie wody w wieloleciu (wartość tę należy odczytać z *Rocznika hydrologicznego*);
- **deniwelacja terenu** ΔH [m] – różnica wysokości maksymalnej H_{max} i minimalnej H_{min} w zlewni;
- **średnia wysokość zlewni** H_{sr} – obliczana jako średnia arytmetyczna wysokości maksymalnej i minimalnej zlewni:



Ryc. 1.2.3. Średnia wysokość zlewni [H_{sr}] wyznaczona na podstawie krzywej hipsograficznej

$$H_{sr} = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (1.2.5)$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

H_{max} – wysokość maksymalna [m n.p.m.],

H_{min} – wysokość minimalna [m n.p.m.];

lub za pomocą **wzoru Reitza**:

$$H_{sr} = 0,434 \frac{H_{max} - H_{min}}{\log H_{max} - \log H_{min}} \quad (1.2.6)$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

H_{max} – wysokość maksymalna [m n.p.m.],

H_{min} – wysokość minimalna [m n.p.m.].

Wysokość średnią można także wyznaczyć na podstawie **krzywej hipsograficznej** zlewni, poprzez zmierzenie powierzchni między wykreśloną krzywą hipsograficzną a układem współrzędnych i podzieleniu jej przez podstawę wykresu (ryc. 1.2.3):

$$H_{sr} = \frac{F}{A} \quad (1.2.7)$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

F – powierzchnia ograniczona krzywą hipsograficzną oraz osiami współrzędnych [cm^2],

A – podstawa wykresu (powierzchnia zlewni) [cm];

lub obliczyć za pomocą **wzoru szczegółowego**:

$$H_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i h_i}{A} \quad (1.2.8)$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

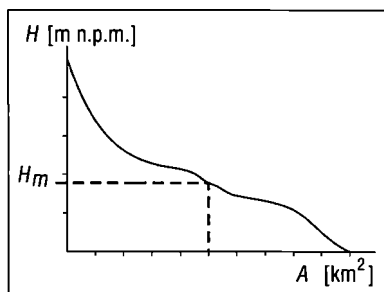
a_i – powierzchnia zawarta między kolejnymi poziomiami [km^2],

h_i – średnia wysokość między dwiema sąsiednimi poziomiami

$$h_i = \frac{h_p + h_{p+1}}{2} \quad [\text{m n.p.m.}],$$

A – całkowita powierzchnia zlewni [km^2];

– **wysokość środkowa (medialna)** H_m [m n.p.m.] – wysokość, powyżej (lub poniżej) której położona jest połowa jej powierzchni; miara ta dobrze odzwierciedla przeciętne warunki wysokościowe w zlewni.



Ryc. 1.2.4. Średkowa (medialna) [H_m] wysokość zlewni

mediana (inaczej wartość środkowa)

– wartość zmiennej losowej dzieląca ogólną liczebność grupy na dwie równe części: część wartości większych lub równych medianie i część wartości mniejszych lub równych medianie

Wysokość środkową wyznacza się na podstawie krzywej hipsograficznej (ryc. 1.2.4);

- **średni spadek zlewni** J – inaczej nachylenie zlewni, odzwierciedla średnie nachylenie stoków; obliczany jest według wzoru:

$$J = 100 \frac{d}{A} \sum_{i=1}^n l_i \quad (1.2.9)$$

gdzie:

- J – średni spadek zlewni [%],
- l_i – długość poziomicy [km],
- n – liczba poziomicy,
- d – cięcie poziomicowe [km],
- A – powierzchnia zlewni [km²].

Nachylenie w zlewniach wydłużonych wyznacza się nieco inaczej:

$$J = \frac{\Delta H}{L_m} \quad (1.2.10)$$

gdzie:

- J – średni spadek zlewni [m·km⁻¹],
- ΔH – deniwelacja zlewni [m],
- L_m – maksymalna długość zlewni [km];

- **średni spadek działu wodnego** J_d – zwany wskaźnikiem urzeźbienia działu wodnego; jest to stosunek deniwelacji na linii działu wodnego ΔH_d do obwodu zlewni P :

$$J_d = \frac{\Delta H_d}{P} \quad (1.2.11)$$

gdzie:

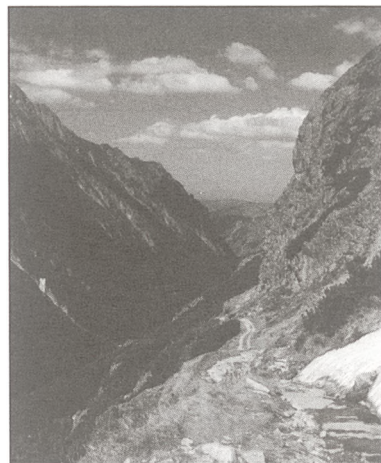
- J_d – średni spadek działu wodnego [m·km⁻¹],
- ΔH_d – deniwelacja działu wodnego [m],
- P – obwód zlewni [km];

- **wskaźnik rzeźby Strahlera** C_f – reprezentujący średnie nachylenie zlewni, jest ilorazem deniwelacji i maksymalnej długości zlewni:

$$C_f = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_m} \quad (1.2.12)$$

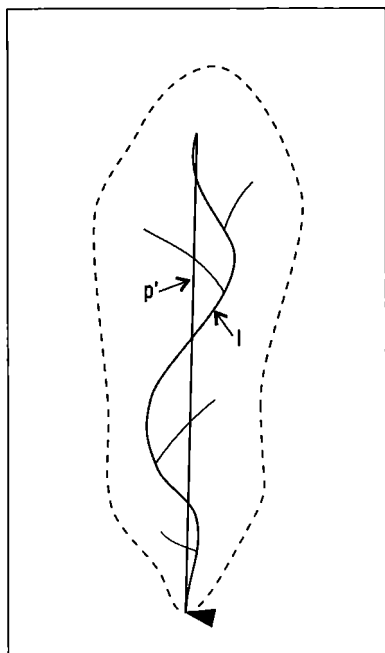
gdzie:

- C_f – wskaźnik rzeźby zlewni Strahlera [m·km⁻¹],
- H_{max} – wysokość maksymalna [m n.p.m.],
- H_{min} – wysokość minimalna [m n.p.m.],
- L_m – maksymalna długość zlewni [km].

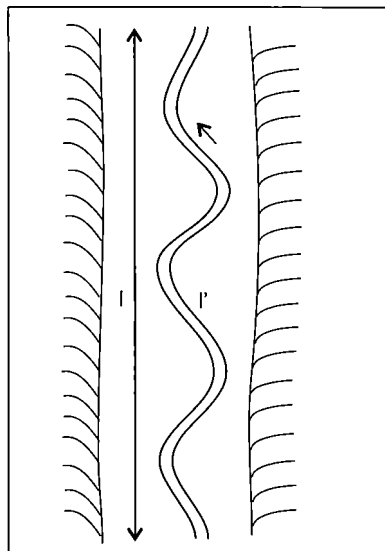


Duże nachylenie zlewni sprzyja szybkiemu spływowi wód po zboczach doliny (zlewnia potoku Rozтока, Tatry Wysokie)

1.2.3. Warunki hydrograficzne



Ryc. 1.2.5. Rozwinięcie rzeki [r];
 l – długość rzeki, p' – długość linii
 prostej



Ryc. 1.2.6. Krętość rzeki [k];
 l – długość rzeki, l' – długość doliny

Do miar charakteryzujących warunki hydrograficzne na obszarze zlewni należą:

- **długość rzeki** l [km, m] – odległość od ujścia do źródeł rzeki;
- **wskaźnik rozwinięcia rzeki** r – stosunek długości rzeki do długości linii prostej łączącej źródło z ujściem (ryc. 1.2.5):

$$r = \frac{l}{p'} \cdot 100 \quad (1.2.13)$$

gdzie:

- r – rozwinięcie rzeki [%],
- l – długość rzeki [km],
- p' – długość linii prostej [km];

- **krętość rzeki** k – iloraz długości rzeki i długości doliny (ryc. 1.2.6):

$$k = \frac{l}{l'} \cdot 100 \quad (1.2.14)$$

gdzie:

- k – krętość rzeki [%],
- l – długość rzeki [km],
- l' – długość doliny [km];

- **spadek wyrównany rzeki** i_w – stosunek różnicy wysokości źródła i ujścia do długości rzeki:

$$i_w = \frac{H_z - H_u}{l} \quad (1.2.15)$$

gdzie:

- i_w – spadek wyrównany rzeki [%],
- H_z – wysokość źródła [m n.p.m.],
- H_u – wysokość ujścia [m n.p.m.],
- l – długość rzeki [km];

- **spadek lokalny rzeki** i_l – obliczany według wzoru:

$$i_l = \frac{\Delta h}{d} \quad (1.2.16)$$

gdzie:

- i_l – spadek lokalny rzeki [%],
- Δh – różnica wysokości między dwoma wybranymi punktami wzdłuż biegu rzeki [m],
- d – długość rzeki pomiędzy dwoma wybranymi punktami [km];

– **spadek zwierciadła wody w rzece** i – stosunek różnicy rzędnych zwierciadła wody w dwóch punktach rzeki do odległości między tymi punktami:

$$i = \frac{\Delta h}{d} \quad (1.2.17)$$

gdzie:

- i – spadek zwierciadła wody w rzece [%],
- Δh – różnica rzędnych zwierciadła wody dwóch punktów pomiarowych [m],
- d – odległość między punktami pomiarowymi [km];

– **gęstość sieci rzecznej** D – iloraz sumy długości wszystkich cieków w zlewni i powierzchni zlewni:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{A} \quad (1.2.18)$$

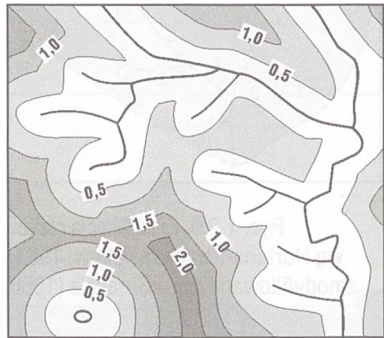
gdzie:

D – gęstość sieci rzecznej [km·km⁻²],

$\sum_{i=1}^n l_i$ – łączna długość cieków w zlewni [km],

A – powierzchnia zlewni [km²];

– **środkowa odległość od wody** G_m [km] – odległość od sieci hydrograficznej, powyżej (lub poniżej) której znajduje się połowa badanego obszaru. Określa się ją na podstawie mapy ekwidystant, czyli linii równych odległości od wody (ryc. 1.2.7): należy zmierzyć powierzchnie między kolejnymi ekwidystantami i wykreślić krzywą odległości od wody (na osi rzędnych zaznacza się skumulowaną wartość powierzchni między kolejnymi ekwidystantami, natomiast na osi odciętych – odległość od wody) (tab. 1.2.1, ryc. 1.2.8). Z wykresu ustala się wartość medialną, która jest wskaźnikiem gęstości sieci wodnej (metoda Wilgata);

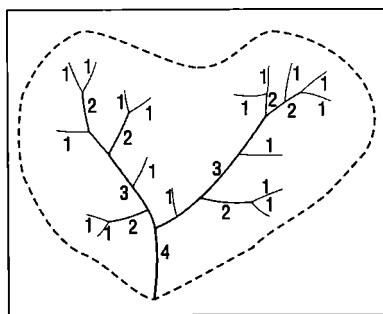
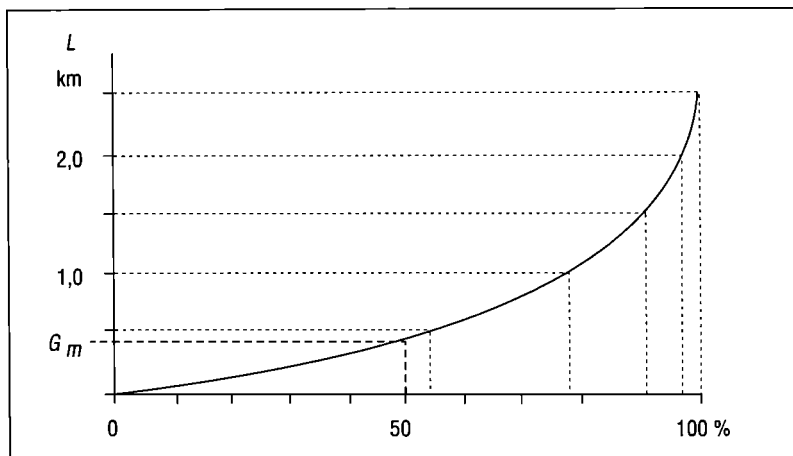


Ryc. 1.2.7. Mapa ekwidystant

Tab. 1.2.1. Wzór tabeli do zestawienia powierzchni między ekwidystantami

Strefa odległości [km]	Powierzchnia między ekwidystantami zmierzona na mapie [cm ²]	Powierzchnia między ekwidystantami [km ²]	Procentowy udział powierzchni częściowej w całej powierzchni	Procentowy udział powierzchni częściowych wraz z niższymi
0,0–0,5				
0,5–1,0				
⋮				
Razem				

Ryc. 1.2.8. Krzywa odległości od wody.
 L – odległość od wody,
 G_m – wartość medialna;
 wskaźnik gęstości sieci rzecznej



Ryc. 1.2.9. Klasyfikacja cieków
 wg Hortona-Strahlera (Chow, 1964),
 zmodyfikowana przez Shreve'a (1966)

– **liczba cieków** różnego rzędu $\sum_1^i N_i$ – określana na podstawie klasyfikacji cieków opracowanej przez Hortona i Strahlera, polegającej na przyporządkowaniu ciekom i odcinkom cieków liczby określającej ich rząd. Klasyfikacja opiera się na następujących założeniach: ciek I rzędu – to odcinki źródłowe rzek; ciek II rzędu – powstają z połączenia 2 cieków I rzędu; ciek III rzędu – z połączenia 2 cieków II rzędu, itd. Przy połączeniu cieków nierównych rzędów, ciek po połączeniu przyjmuje rząd cieków wyższego rzędu (ryc. 1.2.9);

– **długość cieków** różnego rzędu $\sum_1^i L_i$ [km];

– **wskaźnik bifurkacji** R_b – inaczej wskaźnik liczby cieków, informujący o układzie sieci rzecznej w obrębie zlewni. Niska wartość wskaźnika świadczy o dużej koncentracji dopływów. Liczba cieków w systemie rzeczonym maleje wraz ze wzrostem rzędu cieków w postępie geometrycznym o stały iloraz, którym jest wskaźnik bifurkacji; jest to tzw. prawo liczby cieków Hortona. Wskaźnik bifurkacji określa się według wzoru:

$$R_b = \frac{1}{M-1} \left(\frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + \dots + \frac{N_{M-1}}{N_M} \right) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (1.2.19)$$

gdzie:

R_b – wskaźnik bifurkacji,

N_i – liczba cieków rzędu i ,

N_{i+1} – liczba cieków rzędu $i+1$,

M – najwyższy rząd cieków w zlewni;

- **wskaźnik długości cieków** R_L – odnosi się do tzw. prawa długości cieków Horton; oblicza się go według wzoru:

$$R_L = \frac{1}{M-1} \left(\frac{L_2}{L_1} + \frac{L_3}{L_2} + \dots + \frac{L_M}{L_{M-1}} \right) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \frac{L_{i+1}}{L_i} \quad (1.2.20)$$

gdzie:

- R_L – wskaźnik długości cieków,
- L_i – długość cieków rzędu i ,
- L_{i+1} – długość cieków rzędu $i+1$,
- M – najwyższy rząd cieków w zlewni;

- **wskaźnik powierzchni zlewni** R_A – określa się według wzoru:

$$R_A = \frac{1}{M-1} \left(\frac{A_2}{A_1} + \frac{A_3}{A_2} + \dots + \frac{A_M}{A_{M-1}} \right) = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} \frac{A_{i+1}}{A_i} \quad (1.2.21)$$

gdzie:

- R_A – wskaźnik powierzchni zlewni,
- A_i – powierzchnia zlewni rzędu i ,
- A_{i+1} – powierzchnia zlewni rzędu $i+1$,
- M – najwyższy rząd cieków w zlewni;

- **wskaźnik częstości cieków** F_u – iloraz łącznej liczby cieków różnego rzędu i powierzchni zlewni:

$$F_u = \frac{N}{A} \quad (1.2.22)$$

gdzie:

- F_u – wskaźnik częstości cieków [km^{-2}],
- N – liczba cieków,
- A – powierzchnia zlewni [km^2];

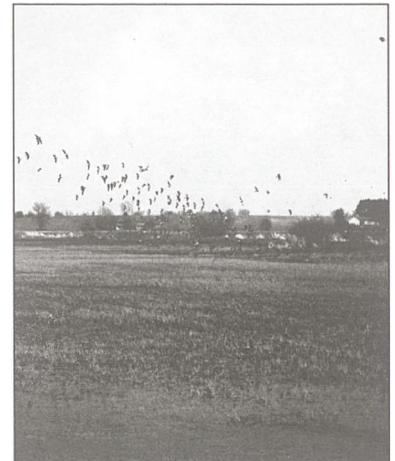
- **wskaźnik zabagnienia** W_b – stosunek pola powierzchni zajętej przez bagna i mokradła do pola powierzchni zlewni

$$W_b = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{A} \cdot 100 \quad (1.2.23)$$

obszar egzoreiczny – obszar, na którym występuje sieć rzeczna, i z którego odpływ trafia do oceanu

obszar endoreiczny – obszar bezodpływowy

obszar areiczny – obszar, na którym brak jest sieci rzecznej



Bagna stanowią formę retencji powierzchniowej; ich udział na obszarze zlewni można wyrazić wskaźnikiem zabagnienia (dorzecze Narwi)

gdzie:

W_b – wskaźnik zabagnienia [%],

B_i – powierzchnia bagien i mokradel [km²],

A – powierzchnia zlewni [km²].

Miary charakteryzujące jeziorność są przedstawione w rozdz. 1.3.

1.2.4. Warunki geologiczno-glebowe

Warunki geologiczno-glebowe wpływają przede wszystkim na szybkość procesu infiltracji. W zlewniach o podłożu przepuszczalnym infiltracja jest znaczna, co sprawia, że zasoby wód podziemnych są duże, zaś odpływ podziemny – znaczny; stany wód w rzekach są wyrównane, a wezbrania mają łagodny przebieg. W zlewniach o podłożu nieprzepuszczalnym, infiltracja jest niewielka i zaznacza się przewaga odpływu powierzchniowego nad podziemnym; wezbrania mają zwykle gwałtowny przebieg. Własności hydrogeologiczne podłoża można określić za pomocą następujących parametrów:



W zlewniach o nieprzepuszczalnym, skalnym podłożu woda opadowa dociera szybko do koryta rzeczno-

- **współczynnik przepuszczalności** k_p – czyli objętość wody, która przepływa w jednostce czasu przez określony przekrój skały i przy określonej różnicy ciśnień hydrostatycznych. Jednostką współczynnika jest darcy (δ). 1 darcy oznacza taką przepuszczalność ośrodka skalnego, w którym przez 1 cm² przekroju w czasie 1 s przesiąknie 1 cm³ cieczy o lepkości 1 centypauza przy różnicy ciśnień 1 at na długości 1 cm;

- **współczynnik filtracji** k – ujmuje zależność między spadkiem hydraulicznym a prędkością filtracji wody. Zależy on zarówno od własności skały, tj. rozmiarów porów, ziaren, ich formy, rozkładu, szorstkości, jak i od lepkości i mineralizacji wody podziemnej (tab. 1.2.2); wyrażany jest najczęściej w m·s⁻¹. Istnieje zależność między współczynnikiem przepuszczalności i współczynnikiem filtracji. Dla wody o temperaturze 20°C jest ona następująca:

$$1 \text{ darcy} = 9,6127 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 1040,3 \text{ darcy};$$

- **współczynnik spływu powierzchniowego** B – określa część wody opadowej, która podlega spływowi powierzchniowemu, zatem pozostała część podlega wsiąkaniu. Współczynnik ten uwzględnia rodzaj podłoża, przewodność hydrauliczną, genezę i typy rzeźby (tab. 1.2.3);

Tab. 1.2.2. Podział skał według własności filtracyjnych (Pazdro, Kozerski, 1990)

Charakterystyka przepuszczalności	Rodzaj skał	Współczynnik przepuszczalności [darcy]	Współczynnik filtracji [$m \cdot s^{-1}$]
Bardzo dobra	rumosze, żwiry, żwiry piaszczyste, gruboziarniste i równoziarniste piaski, skały masywne z bardzo gęstą siecią drobnych szczelin	> 100	$> 10^{-3}$
Dobra	piaski gruboziarniste, nieco ilaste, piaski różnoziarniste, piaski średnioziarniste, kruche, słabo spójne gruboziarniste piaskowce, skały masywne z gęstą siecią szczelin	$100-10$	$10^{-3}-10^{-4}$
Średnia	piaski drobnoziarniste, równomiernie uziarnione, less	$10^{-4}-10^{-5}$	10^{-1}
Słaba	piaski pylaste, gliniaste, mułki, piaskowce, skały masywne z rzadką siecią drobnych spękań	$10^{-5}-10^{-6}$	$1-0,1$
Skały półprzepuszczalne	gliny, namuły, mułowce, ropy piaszczyste	$10^{-6}-10^{-8}$	$0,1-0,001$
Skały nieprzepuszczalne	ropy, łolupki, zwarte gliny ilaste, margle ilaste, skały masywne niespękane	$< 10^{-8}$	$< 0,001$

Tab. 1.2.3. Współczynniki przepływów maksymalnych (Czarnecka, 1976)

Nr grupy	Grupy gleb wg rodzaju skały macierzystej	Współczynniki odpływu w obszarach o typie rzeźby		
		górskiej	wyżynnej	nizinnej
1	Gleby wytworzone na ilach i glinach (ciężkich) oraz zwietrzelinie ilastej	0,85	0,75	0,65
2	Gleby wytworzone na glinach (lekkich), glinach piaszczystych i zwietrzelinie gliniasto-piaszczystej	0,75	0,65	0,45
3	Gleby wytworzone na lessach i utworach lessopodobnych oraz zwietrzelinie skalistej na skałach węglanowych	0,55	0,55	–
4	Gleby wytworzone na piaskach gliniastych	0,40	0,30	0,20
5	Gleby wytworzone na piaskach luźnych i żwirach	0,10	0,10	0,10

- **wskaźnik nieprzepuszczalności gleb *Bołdakowa* N [%]** – charakteryzuje stopień nieprzepuszczalności podłoża; dla utworów całkowicie nieprzepuszczalnych $N = 100$, zaś dla całkowicie przepuszczalnych $N = 0$ (tab. 1.2.4).

Tab. 1.2.4. Wskaźnik nieprzepuszczalności gleb N [%] wg Bołdakowa

Rodzaj gleby	Charakterystyka przepuszczalności	Wskaźnik nieprzepuszczalności N [%]
Piaski jałowe i wydmy	bardzo silnie przepuszczalne	10
Gleby piaskowe i szczerkowe	silnie przepuszczalne	20
Bielice i szczerki naglinowe i naitowe, czarne ziemie	średnio przepuszczalne	40
Torfowiska	średnio przepuszczalne	50
Gleby lessowe, czarnoziemy zdegradowane, gleby aluwialne, gleby mułowo-błotne, rędziny, gleby kotlin śródgórskich	mało przepuszczalne	60
Gliny i iły, gleby podgórskie	nieprzepuszczalne	70
Gleby górskie	nieprzepuszczalne	90

1.2.5. Użytkowanie terenu

Najczęściej stosowanymi parametrami charakteryzującymi użytkowanie terenu są:

– **udział powierzchni leśnej** w ogólnej powierzchni zlewni λ :

$$\lambda = \frac{A_l}{A} \cdot 100 \quad (1.2.24)$$

gdzie:

λ – udział powierzchni leśnej w zlewni [%],

A_l – powierzchnia lasu w dorzeczu [km^2],

A – powierzchnia dorzecza [km^2];

– **wskaźnik rozwinięcia lesistości** ε – określa rozmieszczenie lasu w zlewni i przyrost powierzchni leśnej wraz z przyrostem zlewni; obliczany jest według wzoru:

$$\varepsilon = \frac{F_1}{F_p} \quad (1.2.25)$$

gdzie:

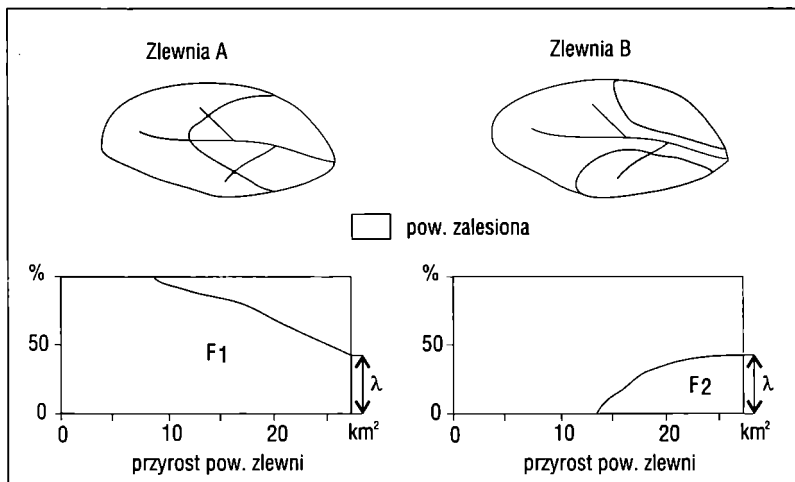
ε – wskaźnik rozwinięcia lesistości,

F_1 – powierzchnia pod krzywą rozwinięcia lesistości,

F_p – pole prostokąta o podstawie równej wielkości zlewni oraz zalesieniu równym 100% (ryc. 1.2.10).



W zlewniach o niewielkim udziale powierzchni leśnej, wezbrania mają gwałtowniejszy przebieg niż w zlewniach zalesionych



Ryc. 1.2.10. Przykład dwóch zlewni o takim samym stopniu zalesienia λ , lecz o różnych wskaźnikach rozwinięcia lesistości ϵ (Lambor, 1965)

Wskaźnik rozwinięcia lesistości przyjmuje wartości od 0 do 1; im wartość ϵ jest bliższa 1, tym korzystniejsze jest rozmieszczenie lasów, z uwagi na ich wpływ na formowanie się wezbrań w zlewni. Analogicznie jak wskaźnik rozwinięcia lesistości, mogą być obliczane wskaźniki innego rodzaju użytkowania powierzchni zlewni, np. wskaźnik gruntów ornych, łąk, zurbanizowania. Można je obliczać względem różnych profili hydrometrycznych rzeki w miarę przyrostu powierzchni zlewni. Takie ujęcie pozwala m.in. na porównanie warunków odpływu w różnych częściach zlewni.

Przykład 1

Oblicz spadek wyrównany dna doliny rzeki Raclawki.

Dane:

długość rzeki – 16,3 km

wysokość źródeł Raclawki – 390 m n.p.m.

wysokość ujścia Raclawki – 242 m n.p.m.

Rozwiązanie

Do obliczenia spadku wyrównanego doliny należy zastosować wzór (1.2.15):

$$i_w = \frac{390 - 242}{16,3} = 9,1 \text{ [‰]}$$

Odpowiedź

Spadek wyrównany dna doliny rzeki Raclawki wynosi 9,1‰.

Przykład 2

Oblicz spadek zwierciadła wody w rzece Rabie, na odcinku między Mszaną Dolną a Stróżą w dniu 1 listopada 1980 r.

Rozwiązanie

Aby obliczyć spadek zwierciadła wody, należy zastosować wzór (1.2.17), który wymaga znajomości rzędnych zwierciadła wody w Mszanie Dolnej i Stróży w dniu 1 listopada 1980 r. oraz odległości między profilami hydrometrycznymi w tych miejscowościach. W tym celu należy sięgnąć do następujących wydawnictw: *Rocznik hydrologiczny IMGW. Wody powierzchniowe. Wisła 1980* oraz *Kilometraż rzek* lub *Podział hydrograficzny Polski* (por. rozdz. 2.1).

1. Odczytanie z *Rocznika hydrologicznego* położenia posterunków hydrologicznych w Mszanie Dolnej i Stróży oraz stanów wody w dniu 1 listopada 1980 r. i zestawienie ich w tabeli (tab. 1.2.5)

2. Obliczenie długości odcinka rzeki między Mszaną Dolną a Stróżą (można odczytać z tabel: *Kilometraż rzek* lub *Podział hydrograficzny Polski*)

$$d = 102,1 - 80,6 = 21,5 \text{ [km]}$$

3. Obliczenie spadku zwierciadła wody

Należy obliczyć rzędne zwierciadła wody w obu posterunkach dnia 1 listopada 1980 r., dodając do rzędnej zera wodowskazu stan wody w danym dniu. Wysokość zwierciadła wody wynosi:

$$\text{w Mszanie Dolnej: } 395,62 + 1,55 = 397,17 \text{ [m n.p.m.]}$$

$$\text{w Stróży: } 297,01 + 1,32 = 298,33 \text{ [m n.p.m.]}$$

Tab. 1.2.5. Stany wody 1 listopada 1980 r. (*Rocznik hydrologiczny wód powierzchniowych. Wisła, 1980, IMGW*)

Posterunek wodowskazowy	Kilometr biegu rzeki* [km]	Poziom zera wodowskazowego [m n.p.m.]	Stan wody [m]
Mszana Dolna	102,1	395,62	1,55
Stróża	80,6	297,01	1,32

*Kilometr biegu rzek podany w *Roczniku hydrologicznym* mierzony jest w górę rzeki (od ujścia do źródeł)

Następnie oblicza się różnicę wysokości zwierciadła wody Δh między punktami pomiarowymi w danym dniu:

$$\Delta h = 397,17 - 298,33 = 98,84 \text{ [m]}$$

i podstawia do wzoru (1.2.17):

$$i = \frac{98,84}{21,5} = 4,6 \text{ [‰]}$$

Odpowiedź

Spadek zwierciadła wody na Rabie, na odcinku między Mszaną Dolną a Stróżą w dniu 1 listopada 1980 r. wynosił 4,6‰.

Zadanie

Oblicz wybrane parametry odpowiadające wszystkim cechom fizjograficznym dwóch zlewni położonych w różnych regionach fizycznogeograficznych i scharakteryzuj na ich podstawie warunki obiegu wody w tych zlewniach. Wskaż cechy, które sprzyjają określonym procesom zachodzącym w zlewni. Jakie są różnice warunków obiegu wody w obu zlewniach?